RESEAUX & TELECOMMUNICATIONS

TP5 VNA - Propagation

S3-Cycle 2 / Module M3205

RT2A

2014-15

Matériel :

Connecteur N

Connecteur SMA

Analyseur de réseau vectoriel Rohde&Schwarz ZVL
1 isolateur, 1 circulateur, 1 filtre, 1 atténuateur
2 bobines de 100 m de câble coaxiale
1 raccord SMA(f) – BNC(f) – 2 raccords SMA(f) – BNC(M)
Sur connecteur SMA(f) : 100 Ω CMS , Circuit ouvert, Court-circuit et 2 charges 50 Ω
1 câble d'impédance caractéristique 50 Ω SMA(m) – SMA(f)
1 bouchon 50 Ω avec raccord BNC(f) – BNC(f)
1 clef dynamométrique pour serrer correctement les connecteurs SMA

1 PRESENTATION

1.1 Présentation générale de l'analyseur de réseau :

L'analyseur de réseau est un appareil qui permet la mesure de la réponse harmonique de quadripôles linéaires, c'est-à-dire dont les signaux de sortie et d'entrée sont sinusoïdaux et de même fréquence. A cause des phénomènes de propagation d'ondes électromagnétiques, la notion de tension ou de courant perd de son sens en haute fréquence; la mesure de la réponse harmonique ne se fait donc pas par l'intermédiaire d'une fonction de transfert classique s/e, mais par l'intermédiaire des paramètres S qui caractérisent la réflexion et la transmission des ondes sur chacun des accès (ou "ports") du quadripôle (figure 1). L'analyseur est vectoriel car il donne accès au module et à la phase de ces paramètres, contrairement à un analyseur scalaire qui ne donne que l'information du module.

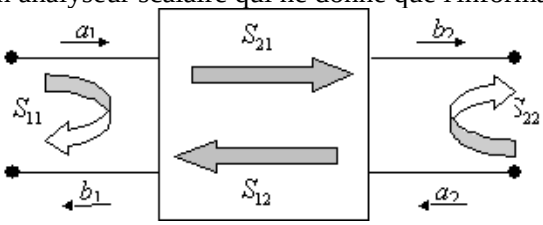


Figure 1 : schéma de la signification des paramètres S

On rappelle la signification physique des paramètres S :

$S_{11} = \left[\frac{b_1}{a_1}\right]_{a_2=0}$ C'est le facteur de réflexion à l'entrée, la sortie étant adaptée.

$S_{21} = \left[\frac{b_2}{a_1}\right]_{a_2=0}$ C'est le facteur de transmission entrée $\rightarrow$ sortie, la sortie étant adaptée.

$S_{22} = \left[\frac{b_2}{a_2}\right]_{a_1=0}$ C'est le facteur de réflexion en sortie, l'entrée étant adaptée.

$S_{12} = \left[\frac{b_1}{a_2}\right]_{a_1=0}$ C'est le facteur de transmission sortie $\rightarrow$ entrée, l'entrée étant adaptée.

La **puissance transmise correspond à** $|S_{21}|^2$ **et la puissance réfléchie** $|S_{11}|^2$.

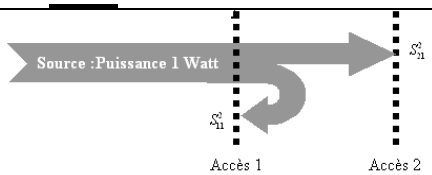
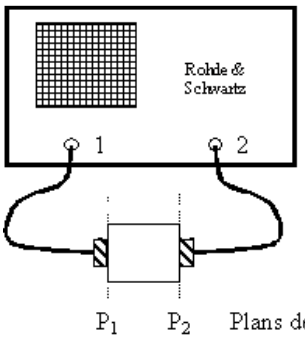


Figure 2. Répartition de la puissance dans le cas d'une excitation de l'accès 1.

1.2 Calibration

Il est impossible de mesurer directement les paramètres Sij d'un dispositif quelconque, mais seulement des paramètres globaux faisant aussi intervenir, les lignes coaxiales d'amenée et les différents connecteurs. C'est le rôle de l'étalonnage (ou "calibration") de supprimer les contributions parasites afin de ne conserver que la contribution du dispositif seul. Toutes les méthodes d'étalonnage existantes visent donc à corriger des termes d'erreur systématiques déterminés par la mesure de différents étalons connus.



Plans de référence P_1 et P_2

La méthode la plus utilisée est dite "OSL" (de l'anglais "Open-Short-Load") : elle consiste en la mesure de la réponse en fréquence d'un circuit ouvert, d'un court circuit et d'une charge adaptée (50 Ω). Ces étalons sont mesurés successivement et les mesures obtenues pour ces éléments de référence sont stockées dans l'analyseur. Ensuite lors de la mesure d'un dispositif inconnu, ces mesures seront automatiquement soustraites de la mesure pour ne conserver que la réponse du dispositif. On peut faire une comparaison avec le tarage d'une balance.

Ceci étant fait, la dernière étape automatique de calcul permet de définir un "plan de référence" électrique (figure ci-dessus).

1.3 Rappel théoriques : Impédance ramenée à l'entrée d'une ligne

Ligne adaptée : L'impédance ramenée est toujours Z_C en n'importe quel point de la ligne et en particulier à son entrée $Z_E = Z_C$

Ligne non adaptée : l'expression de l'impédance ramenée à la source Z_E par une ligne (supposée sans pertes) de longueur l, chargée par une impédance Z_T est : $Z_E = Z_C \times \frac{Z_T + jZ_C \cdot tg\beta l}{Z_C + jZ_T \cdot tg\beta l}$

avec $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi \times f}{v}$

où f est la fréquence et v la vitesse de propagation.

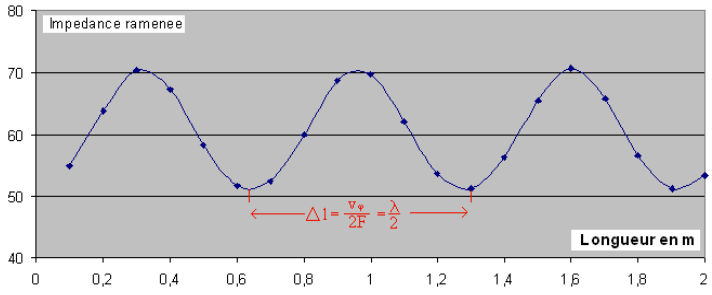
On constate que Z_E est périodique puisque Z_E est fonction de $tg(\beta l)$ dont la période est $\beta l = k\pi$

soit : $\beta l = \frac{2\pi f}{v_\varphi} l = k\pi$

Périodicité spatiale :

Si la fréquence F est constante mais si on se déplace sur la ligne (TP ligne fendue), l'impédance ramenée ne dépend que de la longueur l de la charge. Il y a alors périodicité spatiale avec

$$\Delta l = \frac{v_\varphi}{2F} = \frac{\lambda \times F}{2F} = \frac{\lambda}{2}$$



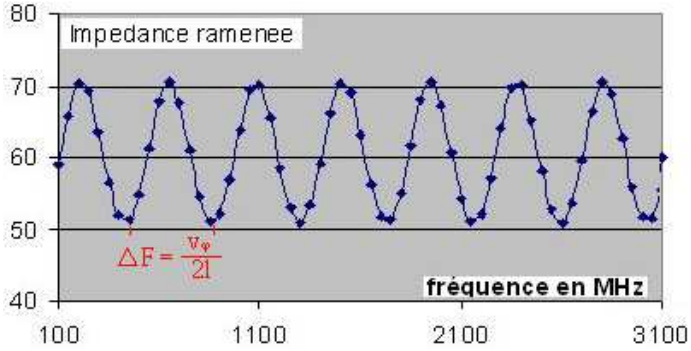
" Si on se déplace de λ/2 on retrouve les mêmes valeurs »

Périodicité fréquentielle :

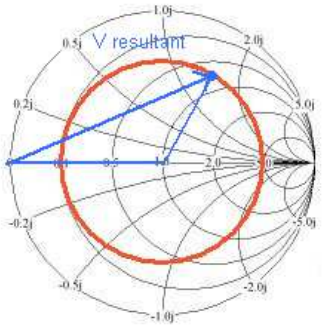
Dans ce TP, l'impédance est toujours mesuré à la même distance l de la charge, l est donc constant et l'impédance ramenée ne dépend que de la fréquence. Il y a alors périodicité fréquentielle avec

$$\Delta F = \frac{v_\varphi}{2l}$$

« Si on augmente la fréquence de $\frac{v_\varphi}{2l}$ on retrouve les mêmes valeurs »



Dans les 2 cas, la tension résultante est, dans l'abaque de Smith, un vecteur qui se déplace sur le cercle caractéristique (c'est un cercle seulement s'il y a aucunes pertes) qui représente le lieu du coefficient de réflexion.



Dans le cas de la périodicité spatiale (TP ligne fendue), on fait un tour de cercle lorsque l'on se déplace de $\Delta l = \frac{\lambda}{2}$

Dans ce TP, on fait un tour de cercle lorsque la fréquence change de

$\Delta F = \frac{v_\varphi}{2l}$

Mais dans les 2 cas on se déplace sur ce même cercle caractéristique.

2 Préparation

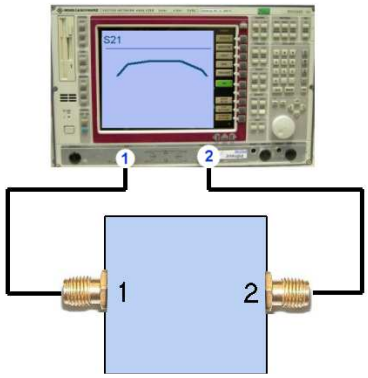
2.1 Influence de la charge sur le coefficient de Réflexion S11

Soit une ligne d'impédance Zc = 50 Ω chargée par une impédance Zt.

- Calculer le coefficient de réflexion S11 (en dB) pour Zt = 0 Ω
- Calculer le coefficient de réflexion S11 (en dB) pour Zt = Z_C = 50 Ω
- Calculer le coefficient de réflexion S11 (en dB) pour Zt = 100 Ω

2.2 Mesure des paramètres S12 et S21 d'un isolateur

Un isolateur laisse passer l'onde dans un sens mais la bloque dans l'autre.
La mesure S21 et S12dans le montage ci-contre donne :
|S12| = - 30 dB
|S21| = 0,5 dB

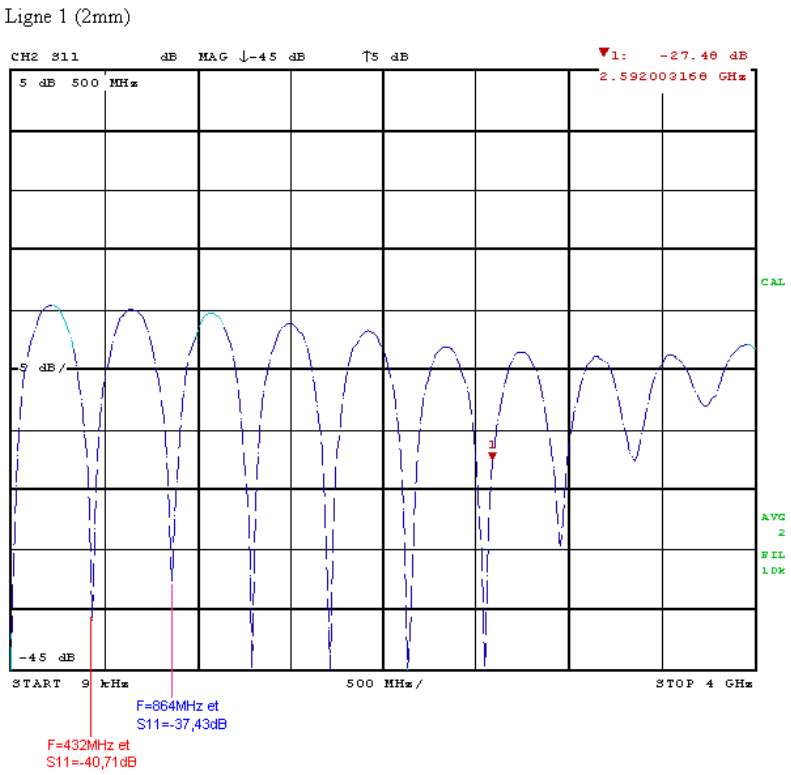


- Dans quel sens l'isolateur est passant :
  ① → ② ou ② → ① ?

2.3 Périodicité fréquentielle

Le relevé du coefficient de réflexion en entrée d'une ligne de longueur
L = 0.20 m a donné la courbe ci-contre.

- En déduire la vitesse de propagation.



3 MESURES

3.1 Précautions de manipulation

L'analyseur vectoriel est un appareil très cher (15000 €) et les mesures en hyperfréquence demandent un soin particulier pour être reproductibles. Des précautions sont nécessaires, ce sont :

- Garder toujours les mêmes conditions de mesure (positions des câbles et serrages des connecteurs
- Ne jamais dévisser un connecteur femelle (le faire exclusivement avec un connecteur mâle)
- Eviter les torsions des câbles et les rayons de courbure trop petits.

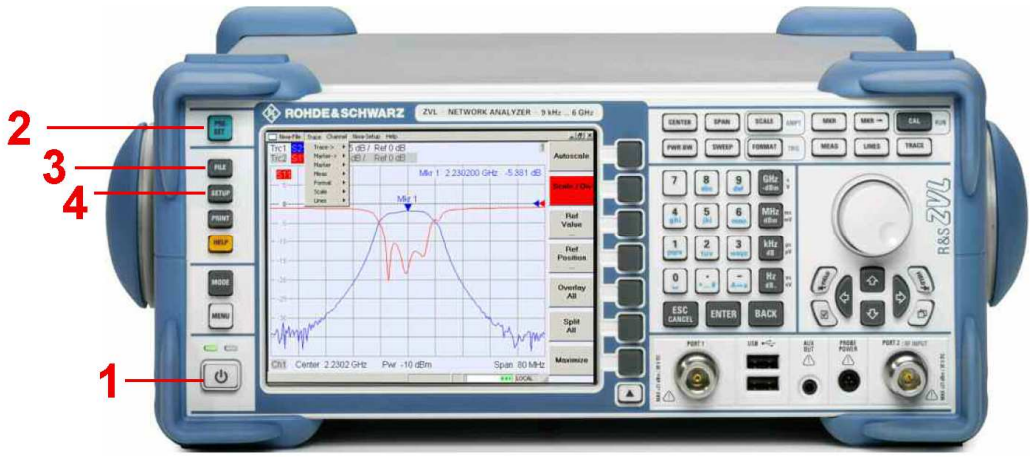
3.2 Kit de calibration

Pour calibrer l'appareil, le département dispose d'une "clef" bleue. Elle est également très cher (1500 €) et contient les 4 dispositifs nécessaires à la calibration :

- MATCH : charge adaptée 50 Ω
- OPEN : charge en circuit-ouvert
- SHORT : charge en court-circuit
- THRU : adaptateur SMA-SMA pour la transmission directe du port1 vers le port 2

Pour la manipulation, vous disposez, dans une boîte en plastique, des 4 dispositifs équivalents à ceux qui sont sur la "clef" bleue.
La charge adaptée est grise, le circuit-ouvert fait apparaître le cœur du connecteur, le court-circuit est muni d'une plaque soudée sur le connecteur.

3.3 Prise en main de l'analyseur (VNA)



Ne jamais déconnecter les 2 câbles du VNA !!!

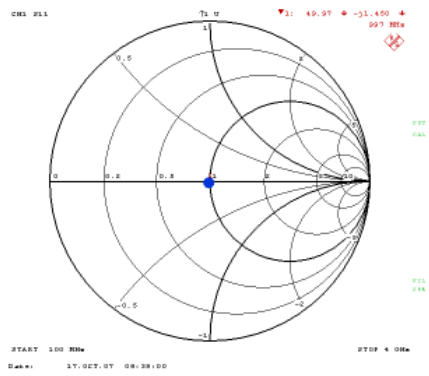
3.3.1 Mise sous tension

- Activer le bouton marche-arrêt (1)
- Pour se logguer, utiliser comme :
  Nom utilisateur : **root**
  Mot de passe : **toto**

3.3.2 Calibration

- Activer la RAZ par PRESET (2)
- Rappeler la calibration enregistrée
  Activer FILE (3)
  Recall
  Path : **C:\Calibration**
  Files : **Cal_RT_9K_3G_1K_0dB.zvl.dfl**
  Recall

La calibration est réalisée entre 9kHz et 3 GHz (**9K_3G)**,
avec RBW = 1 kHz (**1K**) et sans atténuation interne (**0dB**).
Vérifier la en installant la charge adaptée (MATCH) sur le port 1 puis visualiser S11 (format complexe), vous devez obtenir un point au centre de l'abaque de Smith.
Faire de même pour le port 2.
S'il est nécessaire de refaire une calibration suivre la méthode accessible sur le site (Aides Techniques / Appareils / Calibration ZVL).



3.3.3 Configuration IP

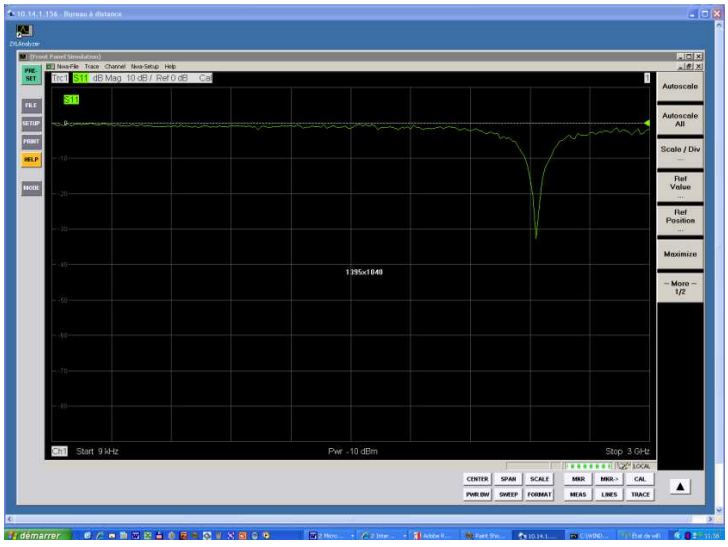
L'analyseur est connecté au PC par liaison ethernet avec les adresses IP suivantes :
@PC : 192.168.1.2
@VNA : 192.168.1.3
Pour le vérifier suivre la procédure suivante :

- Activer le bouton SETUP(4)
  General Setup
  Network Address
  IP-Address

3.3.4 Commande à distance de l'analyseur.

Nous allons, à présent, prendre la main sur l'analyseur par le PC. Lorsque ce sera fait, la face avant de l'analyseur ne sera plus opérationnel.
Suivre, sur le PC, la procédure suivante :

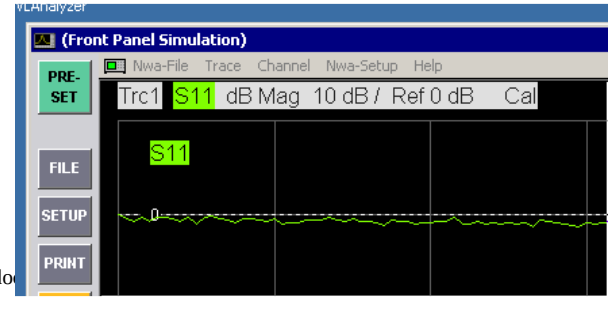
- Vérifier d'abord la connexion réseau
  Démarrer/ Exécuter/ **cmd**
  Tester un ping vers l'adresse IP de l'analyseur (valeur trouvée précédemment)
- Lancer **Connexion bureau à distance**
  Programme/accessoire/*Communication*/Connexion bureau a distance
  Entrer l'adresse IP de l'analyseur.
  Entrer le nom d'utilisateur : **root**
  Mot de passe : **toto**



- Il faut à la fois avoir accès à votre bureau local de PC et aussi avoir accès à toutes les touches de l'analyseur. Pour cela nous vous conseillons de :
  - Réduire la fenêtre principal (Bureau à distance) pour accéder directement à Window XP et sa barre des tâches
  - Réduire la fenêtre fille (Front panel simulation avec boutons du VNA)
  Jouer sur la taille de ces 2 fenêtres pour voir touts les boutons de la face avant
  - Agrandir au maximum la fenêtre fille (set1 avec écran du VNA)

3.3.5 Mode d'emploi

Pour sélectionner la mesure (S11, S22, S12 ou S21) ou le format (dB MAG, PHASE, SMITH) ou l'échelle (SCALE) … il y a 2 méthodes : passer par les touches ou CLIC-Droit sur le paramètre que vous voulez changer en haut et à gauche de l'écran :



Pour visualiser |S11| en fonction de la fréquence, suivre la procédure suivante :
- MEAS / S11 ou CLIC-D .....
- FORMAT / dB MAG ou CLIC-D .....
- SCALE / SCALE par DIV / 10 dB ou CLIC-D .....
- SCALE / Ref Value / 0 dB ou CLIC-D .....
- SCALE / Ref Position / 9 (0dB sera 9 carreaux à partir du bas) ou CLIC-D .....

Pour pointer une fréquence avec un marqueur, suivre la procédure suivante :
- MKR / le faire glisser à l'endroit désiré

3.4 Utilisation du paramètre S21 pour qualifier des composants

Il permet de mesurer la partie transmise de l'onde entre le port 1 et le port 2. Les applications sont multiples :

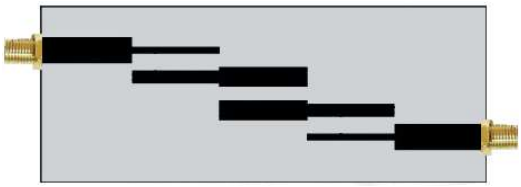
3.4.1 Qualification d'un atténuateur

Soit l'atténuateur 20 dB Radiall.
Relier les entrées et sorties de l'atténuateur aux 2 ports de l'analyseur. (Ceci revient à considérer que l'entrée du filtre est sur le port 1 et la sortie sur le port 2).

- Relever les variations de S21 (dB MAG) – Placer un marker à 1 GHz
- Quelle est l'atténuation à 1 GHz. Est-elle de 20 dB ?

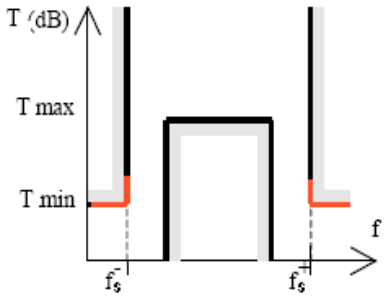
3.4.2 Bande passante du filtre n°1 (ou n°2)

Le filtre ruban n°1 (les capacités et selfs sont des portions de circuit imprimé) est de type Butterworth mais le filtre ruban n°2 est de type Chebyshev

Photo	Principe de construction
	

Relier les entrées et sorties du filtre aux 2 ports de l'analyseur. (Ceci revient à considérer que l'entrée du filtre est sur le port 1 et la sortie sur le port 2)
Observer les variations de S21 (dB MAG)
A partir de cette courbe :

- Donner votre n° de filtre
  Déterminer le type de filtre
  Mesurer sa fréquence centrale (Le mode MKR→ / Marker Search offre la possibilité de se caler automatiquement sur le maximum)
  Relevé ainsi les variations de S21 en pointant, avec 2 marqueurs, les 2 fréquences stop à 30 dB



- Mesurer ses deux fréquences stop pour lesquelles il coupe au moins à 30dB (|T| < -30dB)
  Que se passe-t-il quand on observe le paramètre dual (Ceci revient à considérer que l'entrée du filtre est cette fois sur le port 2 et la sortie sur le port 1) ?
  Y a t'il réversibilité du dispositif ?

3.4.3 Sens de passage de l'onde d'un isolateur

L'isolateur (utilisé dans le TP Antenne) est un dispositif qui laisse passer l'onde dans un sens mais pas dans l'autre.
Relier les 2 ports de l'isolateur aux 2 ports de l'analyseur (1vers1 ; 2 vers 2).
Visualiser simultanément les paramètres S21 et S12.
Pour voir, à la fois S21 et S12, il faut afficher 2 écrans de la façon suivante :
Activer dans le menu du haut : **Nwa-Setup Display/Dual split**

Chercher la gamme de fréquence pour laquelle un de ces 2 paramètres est à 0 dB .

- Relever les courbes en pointant cette gamme par 2 markers.
- Dans quel sens l'onde passe t'elle dans l'isolateur ? 1 vers 2 ou 2 vers 1 - Justifier
  Dans quelle gamme de fréquence ?

3.4.4 Sens de passage de l'onde dans un circulateur

Le circulateur (utilisé dans le TP Ligne fendue) est un dispositif qui transmet l'onde reçue sur une Entrée/Sortie (E/S) vers l'E/S adjacente mais uniquement celle qui est à sa gauche (*ou à sa droite*) : l'onde « tourne » dans le sens des aiguilles d'une montre (*ou dans le sens contraire*).
Pour tester son fonctionnement **il ne faut pas oublier de charger la troisième E/S non reliée à l'analyseur avec une charge adaptée 50Ω**.

Relier les port 3 et 1 de l'isolateur aux 2 ports de l'analyseur (3 vers 2 et 1 vers 1).
Visualiser simultanément les paramètres S21 et S12.
Chercher la gamme de fréquence pour laquelle un de ces 2 paramètres est très voisin de 0 dB .

- Relever les courbes en pointant la gamme par 2 markers.
- Dans quel sens l'onde passe t'elle dans l'isolateur ? 3 vers 1 ou 1 vers 3 ? – Justifier.

Relier les port 2 et 1 de l'isolateur aux 2 ports de l'analyseur (1 vers 1et 2 vers 2).
Visualiser simultanément les paramètres S21 et S12.
Dans la même gamme de fréquence :

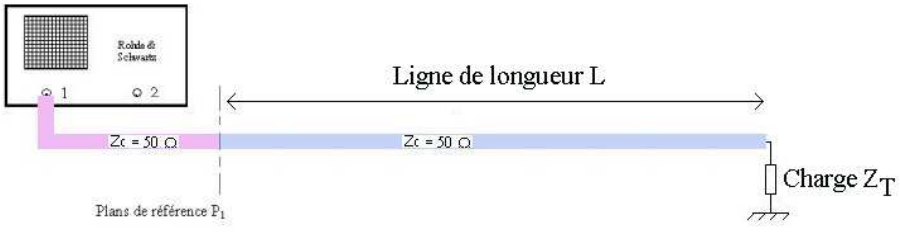
- Dans quel sens l'onde passe t'elle dans l'isolateur ? 2 vers 1 ou 1 vers 2 ? – Justifier.

Relier les port 2 et 3 de l'isolateur aux 2 ports de l'analyseur (2 vers 2 et 3 vers 1).
Visualiser simultanément les paramètres S21 et S12.
Dans la même gamme de fréquence :

- Dans quel sens l'onde passe t'elle dans l'isolateur ? 2 vers 3 ou 3 vers 2 ? – Justifier.
- Conclure sur le sens de déplacement ① → ? → ? → ①
  Dans quelle gamme de fréquence ce circulateur fonctionne correctement ?

3.5 Utilisation de S11 pour mesurer des impédances en entrée d'un câble 50 Ω.

Soit une ligne d'impédance caractéristique 50 Ω de longueur L = 1m ; c'est le câble bleu ou argenté, avec connecteurs SMA qui se trouve dans le tiroir mis à votre disposition.
En choisissant le format SMITH, vous tracez le coefficient de réflexion. En théorie, son module est constant, le tracé est donc un cercle : le cercle caractéristique (dont le rayon est égal à la valeur absolue du coefficient de réflexion) : $|\Gamma| = \frac{ZT - ZC}{ZT + ZC}$
Appliquer la ligne sur le port 1 de l'analyseur.



Les charges que vous allez installer à la terminaison changent lorsque la fréquence est trop grande. On va donc se limiter en fréquence en chargeant un nouveau fichier de calibration qui travaille entre 9kHz et 500 MHz :

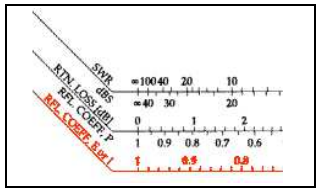
- ✓ Activer la RAZ par PRESET
- ✓ Rappeler la calibration enregistrée

Activer FILE
Recall
Path : **C:\Calibration**
Files : **Cal_RT_9K_500M_1K_0dB.zvl.dfl**
Recall

3.5.1 Cas idéal : la ligne est chargée par la charge adaptée $Z_T = 50\Omega$

En théorie avec l'ABAQUE DE SMITH:

- Calculer l'impédance réduite z_T. Placer son affixe, **noté A,** sur l'abaque de Smith. Dessiner le cercle représentatif associé.
- Lire sur l'échelle "**RFL Coeff**" de l'abaque de Smith la valeur du coefficient de réflexion théorique Γ_{THE}, correspondant à ce cercle.



Mesure avec l'analyseur vectoriel
Installer la charge adaptée en sortie de ligne.
Visualiser S11 au format SMITH.

- Relever le tracé obtenu
- Cela correspond-il à la pratique ? Commenter.

3.5.2 2ème cas : la ligne est chargée par un circuit ouvert

En théorie avec l'ABAQUE DE SMITH:

- Calculer l'impédance réduite z_T. Placer son affixe, **noté B,** sur l'abaque de Smith. Dessiner le cercle représentatif associé.
- Lire sur l'échelle "**RFL Coeff**" de l'abaque de Smith la valeur du coefficient de réflexion théorique Γ_{THE}, correspondant à ce cercle.

Mesure avec l'analyseur vectoriel
Installer le circuit ouvert en sortie de ligne.
Visualiser S11 en mode complexe (SMITH).

- Relever le tracé obtenu
- Cela correspond-il à la pratique ? Commenter.

3.5.3 2ème cas : la ligne est chargée par un court-circuit

Selon le poste le court-circuit est le connecteur sur lequel a été soudé une plaque ou le connecteur doré.

En théorie avec l'ABAQUE DE SMITH:

- Calculer l'impédance réduite z_T. Placer son affixe, **noté C,** sur l'abaque de Smith. Dessiner le cercle représentatif associé.
- Lire sur l'échelle "**RFL Coeff**" de l'abaque de Smith la valeur du coefficient de réflexion théorique Γ_{THE}, correspondant à ce cercle.

Mesure avec l'analyseur vectoriel
Installer le court-circuit en sortie de ligne.
Visualiser S11 en mode complexe (SMITH).

- Relever le tracé obtenu
- Cela correspond-il à la pratique ? Commenter.

3.5.4 3ème cas : la ligne est chargée par la résistance de 100 Ω

En théorie avec l'ABAQUE DE SMITH:

- Calculer l'impédance réduite z_T. Placer son affixe, **noté D,** sur l'abaque de Smith. Dessiner le cercle représentatif associé.
- Lire sur l'échelle "**RFL Coeff**" de l'abaque de Smith la valeur du coefficient de réflexion théorique Γ_{THE}, correspondant à ce cercle.

Mesure avec l'analyseur vectoriel

Installer la résistance de 100 Ω (CMS) en sortie de ligne.
Visualiser S11 en mode complexe (SMITH). Est-ce le cercle attendu ?

Mesures à basse fréquence (à la fréquence START de 9 kHz) :

- Placer le marqueur 1 sur cette Fréquence START
  Quelle est l'impédance mesurée ? Comparer à la valeur de la résistance.
  Est-ce un nœud ou un ventre ?

Mesures sur le côté opposé du cercle :

- Placer le marqueur 2 sur cette fréquence START puis augmenter doucement sa fréquence jusqu'à ce qu'un demi- tour de cercle soit bouclé.
  Quelle est l'impédance mesurée ? Justifier sa valeur.
  Est-ce un nœud ou un ventre ?
- Mesurer la fréquence correspondante. Justifier sa valeur sachant que la vitesse de propagation dans ce câble est de 2×10^8 m/s.
- Relever le tracé obtenu avec les 2 marqueurs.

3.6 Caractérisations d'un câble.

3.6.1 Mesure de l'Atténuation

Installer la bobine de 100 m de câble coaxial (câble 50 Ω) entre le port 1 et le port 2 à l'aide des 2 raccords BNC-SMA.
On va encore se limiter en fréquence en chargeant un nouveau fichier de calibration qui travaille entre 9kHz et 50 MHz :

✓ Activer la RAZ par PRESET
✓ Rappeler la calibration enregistrée - Activer FILE
  - Recall
  - Path : **C:\Calibration**
  - Files : **Cal_RT_9K_50M_100_0dB.zvl.dfl**
  - Recall

- Quelles sont les paramètres S_{IJ} qui permettent de mesurer l'atténuation ?
- Relever le paramètre S21 en mode dBmag en plaçant 2 marqueurs à 10 MHz et 40 MHz.
- Donner l'atténuation à 10 MHz et 40 MHz.
- Vérifier que l'atténuation est proportionnelle à √F.

Installer une deuxième bobine à la suite de la première.

- Relever le paramètre S21 en mode dBmag en plaçant 2 marqueurs à 10 MHz et 40 MHz.
- Donner l'atténuation à 10 MHz et 40 MHz.
- Vérifier que l'atténuation est proportionnelle à L.

3.6.2 Mesure de la vitesse de propagation

- Relever le coefficient de réflexion en entrée de la bobine (paramètre S11) en mode dBmag en plaçant 2 marqueurs sur 2 minimums adjacents.
- En déduire la vitesse de propagation sachant que le câble a une longueur de 100m

The Complete Smith Chart

Black Magic Design